

JAXA 航空マガジン

# FLIGHT PATH

新たな空へ 夢をかたちに  
*Shaping Dreams for Future Skies*

JAXA

2016  
SUMMER

No.13  
航空技術部門  
[www.aero.jaxa.jp](http://www.aero.jaxa.jp)



特集

## 安全で快適な空の旅を目指す SafeAvioプロジェクトの挑戦

2 部門長挨拶

新たな空へ 夢をかたちに

6 特集 関連技術

目指すは“揺れない”旅客機の実現

7 リレーインタビュー

「ずっと制御技術に携わってきたからこそ、さまざまな研究に参加できました」

8 航空技術部門へのメッセージ

JAXAが研究している技術はどれも必要 一刻も早い実現を

10 基礎・基盤技術 燃焼振動

11 ソラの技「気象情報技術編」

12 FLIGHT PATH TOPICS

# 新たな空へ 夢をかたちに



航空機は私たちの生活に欠かせない社会基盤の一つとなっており、今後もますます利用拡大が見込まれています。また航空機産業は、世界規模で今後20年の間に約2倍の成長が期待されています。このような状況において、2014年（平成26年）8月に文部科学省が発表した「戦略的次世代航空機研究開発ビジョン」では、我が国の航空機産業の競争力強化と航空輸送システムの技術革新が謳われました。科学技術イノベーションの主要な実行主体としての国立研究開発法人であるJAXAの役割はますます大きなものになってきています。

JAXA航空技術部門では、「航空環境技術、航空安全技術、および将来航空機技術の3本の柱と、それを支える基礎的・基盤的技術」を軸として研究開発を進めています。これまで推進してきました次世代運航システム（DREAMS）や静粛超音速機技術の一つである低ソニックブーム設計概念実証（D-SEND）のプロジェクトでも国内外に誇れる成果を出すことができました。これらに続く、高効率軽量ファン・タービン技術実証（aFJR）、機体騒音低減技術の飛行実証（FQUROH）、乱気流事故防止機体技術の実証（SafeAvio）という現在推進中の3つのプロジェクトはもちろん、その他の研究事業においても高いレベルの確実な成果を実現すべく取り組んでいます。

航空技術部門の運営方針として、「オープンイノベーション」、「成果指向と技術育成」、「将来の研究開発戦略の立案」を挙げております。「オープンイノベーション」では、我々が得意とする航空工学技術の更なる強化に加えて、それ以外のさまざまな技術分野の知見を取り入れる開かれた研究体制の実現を目指します。2015年度に発足させました次世代航空イノベーションハブはそれを具体化するしかけの一つです。

また研究開発を担う組織として「成果指向と技術育成」は車の両輪であり、ともに重要であります。特に重視しますのは、社会・産業に対する成果指向テーマにおけるスピードの向上と、新規技術の育成テーマにおける欧米を凌駕する高い目標へのチャレンジです。部門として成果指向と技術育成の双方を活かすマネジメントを行います。

「将来の研究開発戦略の立案」では、社会・ビジネス・技術のグローバルな変化を把握し、欧米や新興国に対して優位性をもつストーリーを検討します。特に産業界との連携は重要であります。またオープンイノベーションを前提とした幅広い技術の視点で検討を進めたいと考えております。

この運営方針のもとで基盤的研究分野においても、我が国の航空技術の知が結集するような研究体制の検討を始めています。また、これまで実施してきた公募型研究制度において、新たに「JAXA航空技術イノベーションチャレンジ」という制度を設けたのも、幅広い分野の知見を取り入れようとするためのものです。

今後とも、国内外から注目される高いレベルの研究開発と、これを産業・社会に受け渡す機能を充実させるべく、より一層努力してまいります。

「新たな空へ 夢をかたちに」 将来の空に必要な最先端の航空技術を、社会の役に立つ形で提供することで、世界に羽ばたく日本の航空産業を支え、また、安心して豊かな社会を実現させるべくJAXAは邁進していきます。

引き続き、皆様のご支援、ご協力を頂きますようお願い申し上げます。

国立研究開発法人  
宇宙航空研究開発機構（JAXA）  
理事／航空技術部門長

伊藤 文和

Feature  
特集

# 安全で快適な 空の旅を目指す

## SafeAvioプロジェクトの挑戦

晴天乱気流検知による事故低減を目的とした「乱気流事故防止機体技術の実証 (SafeAvio)」の現在と今後の取り組みを町田茂プロジェクトマネージャに聞く

世界のエアラインで問題になっている晴天乱気流による事故。レーダーではとらえることのできないこの晴天乱気流を検知できる装置が、「ドップラーライダー」です。JAXAは、航空機搭載型ドップラーライダーの世界トップの技術を持っています。SafeAvioプロジェクトでは、実際の旅客機に搭載可能な小型軽量化を図ったドップラーライダーで晴天乱気流を検知し、パイロットに知らせることの実証を目指しています。SafeAvioは空の旅をさらに安全で快適なものにすることで社会貢献を果たすことだけでなく、その技術を産業界に移転し、日本の航空装備品メーカーが世界に進出するためのサポートを行うことも目指しています。

### 町田 茂

SafeAvio(乱気流事故防止機体技術実証)プロジェクトチーム  
プロジェクトマネージャ



### 見えない乱気流を レーザーでとらえる

— SafeAvioは何を目指した研究ですか。

晴天乱気流に起因する旅客機の事故低減が最終的な目標です。晴天乱気流というのは、雲がない空域で発生する乱気流のことで、旅客機に搭載されている気象レーダーでとらえることはできません。そのため、旅客機は前触れなしに乱気流が存在する空域に進入することになります。激しい振動によって乗客やキャビンアテンダントの方がけがをしったりするこ

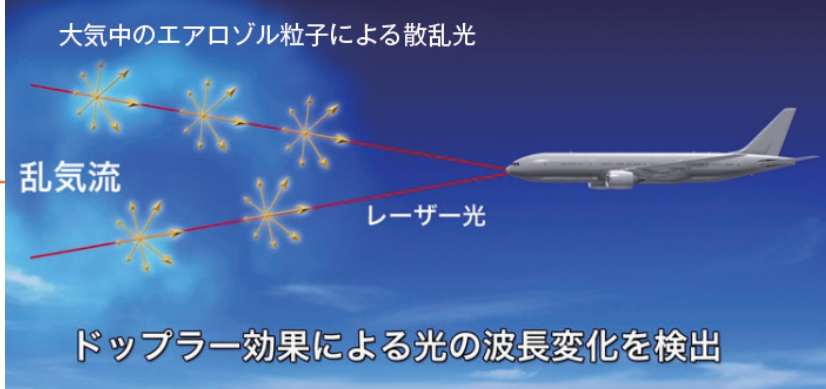
とがあり、ときには甚大な事故も発生しています。晴天乱気流に起因する事故は世界中で発生しています。日本周辺の空でも毎年1~2回は起こっており、特に冬季には、ジェット気流が真上を流れているため、そういう事故が起こりやすいといわれています。この晴天乱気流を検知し、旅客機の安全な運航を守るのが、私たちの目標です。

— どのような方法で晴天乱気流を検知するのですか。

通常の気象用レーダーでは検知できないので、ライダー(LIDAR)と呼ばれるレーザーを

用いたセンサを使います。空気中にわずかに存在するエアロゾル粒子(空中の微粒子)にレーザー光を当て、返ってくる信号をとらえます。乱気流があればエアロゾル粒子の動きも乱れていますので、信号のいろいろな特性を見て、どれくらい前方に乱気流があるかをとらえることができるのです。エアロゾル粒子の動きをドップラー効果によって検知するため、このような装置はドップラーライダーと呼ばれます。

— JAXAはいつ頃からこの研究に取り組んでいるのですか。



1998年に基礎的な研究を始めました。1kmほど先が見える装置、3kmほど先が見える装置と段階を追って開発を続け、現在の一つ前のモデルは2013年に実際に航空機に搭載し、高度10kmにおいて、約9km以上先の晴天時の乱気流を検知できることを実証しました。このドップラーライダーは重量が150kgもありました。現在、私たちは旅客機に実装できるドップラーライダーを開発し、その性能を実際の飛行試験で実証しようとしています。

基本的な技術はすでに実証済みです。性能を落とさずに、重量はこれまでの半分にしようとしています。メーカーと協力しながら、筐体の数を少なくする、小型にするなどの工夫を行い、ほぼ実現しました。また、レーザー自体も強力にして性能を上げ、冷却装置も小型で済むようにしました。

## 航空機への実装を目指す

——海外でもこうした研究は行われていますか。

レーザーで微粒子を計測する技術自体は新しいものではありません。工業プロセスで流れを見るとか、気象観測に使うなどの例があります。しかしどれも近距離での観測しかできず、装置も非常に重いようです。航空機に搭載する装置として研究しているのはJAXAだけです。

——とすると、海外からも注目されているのではないですか。

私たちは2010年度から2016年度までボーイング社と共同研究を行っており、ド

ップラーライダーの搭載方法やそのための条件などについて一緒に研究しています。

——晴天乱気流の検知に対するエアラインからの期待は非常に大きいと思いますが、いかがですか。

エアラインの方と話をしていると、晴天乱気流は安全にかかわる非常に重要な問題であるという気持ちがひしひしと伝わってきて、私たちとしても非常に重く受け止めています。特にパイロットの方に話を伺いますと、どんなに直前であってもいいから、とにかく前方にある晴天乱気流の情報が欲しいとおっしゃいます。これをどうにかしたいというのが私たちの大きなモチベーションになっています。

——9km先の晴天乱気流を検知したとすると、パイロットにとってどのくらいの時間的余裕ができますか。

30~40秒です。そのくらいの時間があると、シートベルト着用や着席のサインを出せますし、キャビンアテンダントの方たちもサービスを一時中断することができます。ある研究機関の調査によると、ジャンボクラスの大型ジェット旅客機でも、1分あれば、席を立てていた人の半数は席につくことができるとの事です。ですから、私たちとしては、晴天乱気流を確実に検知できる装置を旅客機に搭載し、パイロットの方に1分くらい前にその

情報をお知らせすることが、一つの目標になるのではないかと思います。

——実証試験に向けた進捗状況はいかがですか。

現在、実際に搭載する装置をすでに作っており、地上試験中で、2016年10月には準備が完了します。11月には飛行試験を行うことになっています。

## 日本の技術が世界に進出する突破口に

——空の旅の安全を守る上で、晴天乱気流による事故は大きな問題です。JAXAとしては、この問題を解決し、社会に役立ちたいと考えているわけですね。

その通りです。ただし、JAXAの技術が役に立つかというのは、結果でしか判断されませんので、きちんとメーカーに受け取っていただき、実用化の道筋ができるまでが私たちの仕事ではないかと考えています。SafeAvioの目標は技術成熟度<sup>(※)</sup>でいうと6レベル。つまり、そこから先はメーカーが製品化するという段階です。航空装備品としての製品化となると、そのための標準を作り、それを認めてもらうプロセスが重要になってきます。もちろんそのプロセスはメーカー主体で進められるのですが、そのための道筋づくりをJAXAとしても

## 晴天乱気流による航空機事故

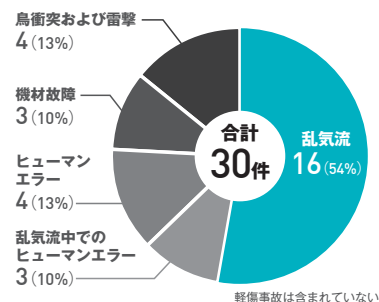
「晴天乱気流」は文字通り雲一つない空域に発生する乱気流のこと。旅客機には気象レーダーが搭載されているが、雨雲や積乱雲がないため、レーダーは晴天乱気流の存在を検知することができない。このため、晴天乱気流に遭遇した旅客機は突然激しい揺れに見舞われ、時に乗客や客室乗務員に深刻な被害を与えることがある。

晴天乱気流の多くは地球を循環しているジェット気流に関連して発生するため、世界中のエアラインで問題になっている。

運輸安全委員会の「航空事故調査報告書」によれば、日本周辺でも、晴天乱気流による航空機事故が1年に1~2回は発生している。例えば2014年12月に起こったアメリカン航空機での事故では、化粧室内にいた乗客1名と後方通路にいた客室乗務員1名が、天井に当たるなどして重傷を負った。

軽傷事故もたびたび起こっているとみられ、晴天乱気流による事故が低減できれば、空の旅はより安全で快適なものになる。

### 航空機事故の原因別分類 大型飛行機の事故 (2005~2014年)



日本周辺での航空機事故の原因別分類。乱気流が原因の事故は全体の54%と半数を占めている。

※ TRL: Technology Readiness Level. 技術の成熟度評価を行い、異なる技術の成熟度を比較する定量的な尺度。レベルが高くなるほど、実用化に近いことを意味する。航空機の場合、TRL6でプロトタイプによる技術成立性の確認、TRL7で飛行試験、TRL8で認証試験、TRL9は実運用段階を表す。

約9km先の乱気流を検知できることを実証したモデル。150kgの重量をいかに軽減するかが航空機搭載の課題となる。



始めており、米国の標準化団体にコンタクトして、情報を入手したりしています。

基礎研究の成果をさらに高度化するだけでなく、その技術を産業へバトンタッチすることも大事で、SafeAvioはその両方を明確に意識しながら進めています。それだけでなく、私たちはこのSafeAvioの技術が実証されて、エアラインや機体メーカーに評価され、実際に使われていけば、さらにいろいろな日本の航空装備品が世界の機体メーカーに採用されていく道が開けていくのではないかと考えています。日本の航空機産業の振興にも貢献したいのです。

——日本の装備品メーカーが成長するお手伝いもしようというわけですね。

現在は残念ながら、日本の製品が装備品として標準的に使われていくという状況ではな

いのですが、SafeAvioが一つの突破口になるのではないかと考えています。当初からそれを目標にしてやってきましたし、今回の実証で多分そういう道がきちんと開けてくると確信しています。

——産学との連携が大事ですね。

そのために、私たちはSafeAvio研究会というコミュニティを立ち上げています。東京大学と東北大学、JAXAの他に、機体メーカーや装備品メーカー、一般社団法人日本航空宇宙工業会(SJAC)、さらにアドバイザーとしてエアラインなどにご参加いただいて、SafeAvioをどんなシステムにすべきかを、当初から議論しています。

## SafeAvioのその先へ

——SafeAvioは2016年度までのプロジェクトとなっていますが、その先について、伺いたいと思います。

最初に申し上げたように、SafeAvioの最終的な目標は世界で発生する晴天乱気流事故の半減ですから、晴天乱気流の検知だけでなく、乱気流に進入した際に舵を自動制御して揺れを低減させる大きなシステムにしていきたいと考えています。また、今あるレーザーの技術をもっと磨くという方向もあると思います。

——現在9kmほど先の晴天乱気流を検知可能とのことですが、この距離をもっと伸ばすことは可能ですか。

できると思います。一つはレーザー光の性能を高めることですが、信号処理のソフトの改良によっても実現できると思っています。

——機体の揺れを自動制御する技術の研究はどのように進めていきますか。

研究開発要素が多いので、今は次世代航空イノベーションハブの枠組みの中で、技術レベルを上げています。まずは実際の装置をつくる前にコンピューターによるシミュレーションで研究をしてみ、次に、風洞でできることはまず風洞でやろうと考えています。その次にJAXAの実験用航空機MuPAL-aを使って低い速度で試験し、そこでうまくいけば今度はジェット機で試験するというようなステップになるのではないかと思います。SafeAvio研究会とも連携して効率的に進めていきます。

——分かりました。最後にSafeAvioプロジェクトに対する抱負を聞かせてください。

SafeAvioはメーカーに非常に近い目的をもったプロジェクトとして立ち上がりました。プロジェクトとなったことによってチームの団結力は高くなりました。一方では、期待に応えなくてはならないという責任も感じています。良い意味での緊張感を保ちながら、メーカーが製品化できるころまで、きちんとやっっていこうと思っています。

<http://www.aero.jaxa.jp/research/star/safeavio/>



## JAXAの技術はここがすごい！ 9km先の微粒子の動きから乱気流の存在を知る

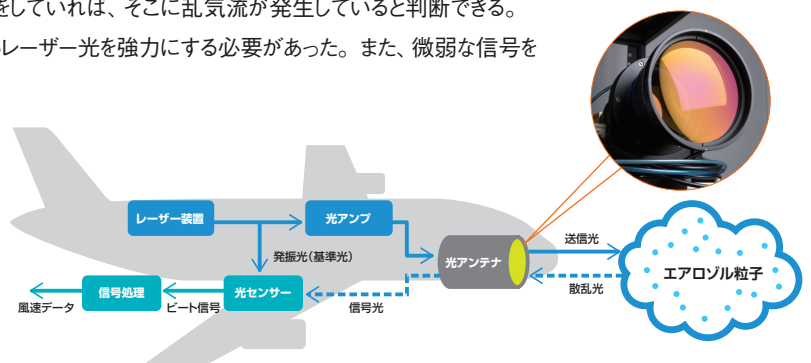
晴天乱気流は雲をとまわらないので、レーダーでの検知ができない。そこでJAXAでは、大気中を浮遊する微粒子(エアロゾル粒子)の動きから乱気流を検知する方法を研究してきた。とはいえ、エアロゾル粒子の直径は1nmから100μm程度、しかも旅客機が巡航する高度10kmあたりでは非常に希薄で、1cm<sup>3</sup>あたり1個あるかないかという程度。そのようなきわめて微小でほんの少ししか存在しないエアロゾル粒子の動きを、はるか遠方からどうやって検知するのか。

検知するために使うのは、ドップラーライダーとよばれる装置である。エアロゾル粒子にレーザー光を当て、反射して戻ってきたレーザー光を受信して「ドップラー効果」を調べれば、エアロゾル粒子がどのように動いているのかを割り出すことができる。エアロゾル粒子は気流とともに移動しているので、エアロゾル粒子が激しい動きをしていれば、そこに乱気流が発生していると判断できる。

エアロゾル粒子からの信号をとらえるには、発振するレーザー光を強力にする必要があった。また、微弱な信号をN回積分することで、背景ノイズから信号を分離し、検知を容易にするという工夫もした。その結果、2013年の試験では、高度10kmで9km以上先の晴天時の乱気流の検知に成功している。

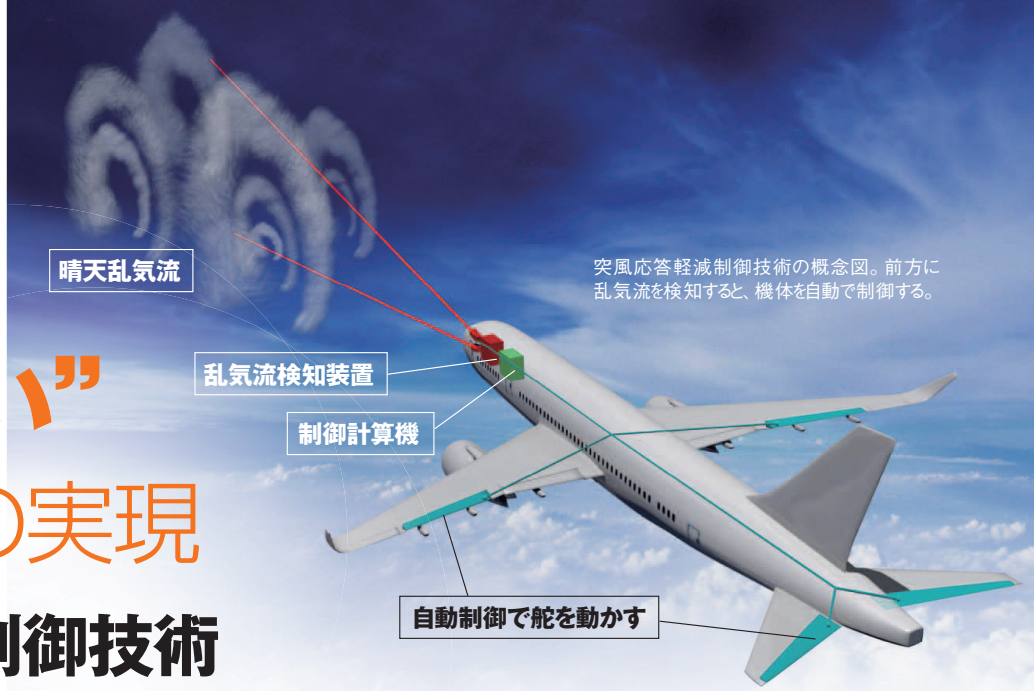
SafeAvioでは現在、レーザーの性能を落とさず、ドップラーライダー全体を航空機に搭載可能まで小型軽量化することを目指している。

(詳しくは、FLIGHT PATH No.9を参照。)



# 目指すは “揺れない” 旅客機の実現

## 突風応答軽減制御技術



SafeAvio で検知した情報を活用し機体を自動的に制御することで、乱気流に遭遇しても機体の揺れを最小限に抑える技術が、“突風応答軽減制御技術”です。将来、SafeAvio と合流しより安全な航空機の運航を目指す、この技術の概要と今後の計画について紹介します。

### 揺れを予見して機体を制御する

特集で取り上げた SafeAvio は、機体前方の晴天乱気流を検知しパイロットに警告を送るシステムです。「突風応答軽減制御技術」は、その SafeAvio で晴天乱気流を検知した際、パイロットの手を介さず自動的に機体を制御して機体の動揺を低減するための技術です。

乱気流などによる機体の動揺を、どのような方法で低減させるのでしょうか。突風応答軽減制御技術の研究を担当している次世代航空イノベーションハブ航空安全技術研究チームの濱田吉郎機体動揺低減技術研究リーダーは、「現在想定しているアルゴリズムは、予見制御と呼ばれるものです」と説明します。例えば、車を運転している時に前方にカーブが見えれば、カーブの大きさに合わせてうまく曲がれるよう運転します。同じように航空機でも、前方に発生した乱気流を検知できれば、乱気流を回避できない場合でも機体の揺れを抑えた操縦が可能になります。

突風応答軽減制御技術は、過去にはヨーロッパやアメリカでも研究されてきましたが、SafeAvio のような検知技術ができなかったため、確立には至っていません。JAXA では、SafeAvio の研究を進めると同時に、乱気流検知が可能になれば必ず必要となる予見制御の技術研究も進めているのです。

### シミュレーションから風洞実験へ

突風応答軽減制御をより具体的に解説すると、SafeAvio によって事前に検知した晴天乱気流の情報から、風向風速を導き出し、その風による機体の揺れを最小に抑えるように、自動的に推力を調整したり舵面を動かして機体の姿勢を変更する技術です。ノイズと逆位相の振動を発生させることで、外部からのノイズを打ち消すノイズキャンセリング技術と似ています。パイロットに対して、前方の晴天乱気流に対する警告を発するだけでなく、機体の制御も自動で行うことができれば、パイロットへの負担も少なくできるでしょう。

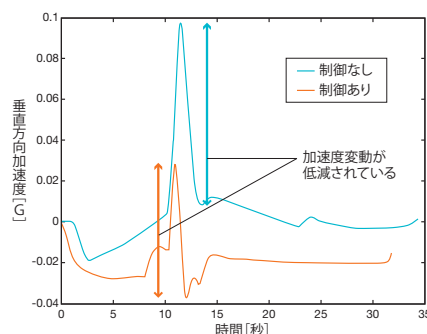
突風応答軽減制御技術は、発想としては単純な技術でも、実用化するまでには長い道のりが必要です。現時点では、コンピューターを使ったシミュレーションを繰り返し行い、制御を行った場合の効果を確認している段階です。次の段階としては、2017年度に突風風洞を用いた風洞実験を計画しています。風洞内に配置した模型に晴天乱気流を模した突風を当て、模型内に組み込んだ小型アクチュエーターによる予見制御の効果を確認します。

### 日本の航空産業に貢献するために世界初を目指す

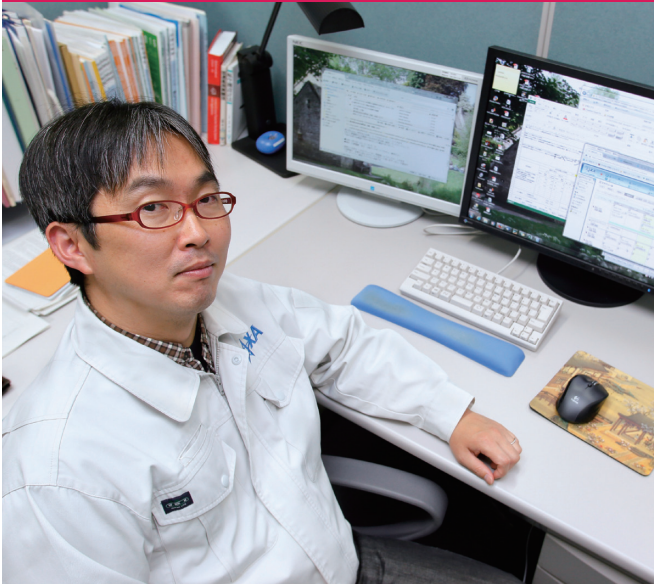
風洞実験の後には、2018年度以降に SafeAvio プロジェクトと合流し、JAXA の実験用航空機を使った実証実験など実施したいと考えています。実証実験は、実用化に向けての大きなハードルの一つです。旅客機の制御をプログラムに任せるとなると、万が一にも事故が起きる可能性があってはいけませんから、慎重に実証していく必要があります。実用機に搭載するための認証にも、時間がかかるでしょう。したがって、突風応答軽減制御技術が実用化されるのは、20年後あるいはその先ということになるかもしれません。

現在、海外でも突風応答軽減制御技術は確立していません。このような世界の航空技術研究を牽引するような研究を進めることにより、日本の航空産業へ貢献することがJAXAの使命であると考え、今後も研究に取り組んでいきます。

### 予見制御技術の検証実験結果



航空機に対して人為的に外乱を加える実験において、予見制御を行うことで、上下方向の加速度の低減を確認した。



## 「ずっと制御技術に携わってきたからこそ、さまざまな研究に参加できました」

次世代航空イノベーションハブ 航空安全技術研究チーム  
**濱田 吉郎**

1972年生まれ。1994年3月東京大学工学部計数工学科を卒業。1996年3月には同大学工学系研究科計数工学専攻修士課程を修了し同専攻博士課程に進む。1998年3月に同課程中途退学。同年4月に航空宇宙技術研究所(現JAXA)に入所。2006年3月から2007年3月まで、英国ケンブリッジ大学に客員研究員として留学。2015年4月より現職に就く。

**今回は、突風応答軽減制御技術の研究を担当している濱田吉郎リーダーに、これまで携わってきた研究や現在の研究に対するやりがいなどについて聞きました。**

### ——現在の業務内容について教えてください。

突風応答軽減制御技術という、乱気流などに遭遇した際に自動的に機体を制御して揺れを抑える技術の研究を行っています(詳しくは6ページ参照)。その中で、全体の取りまとめと制御部分を担当しています。制御アルゴリズムの考え方自体は昔からあるものですが、これまで世界的に見ても航空機の前方にある乱気流を検知する技術がなかったため、私たちの研究がおそらく世界で初めての技術になるでしょう。ただし、昔からあるアイデアとはいえ、実用化には課題がたくさんあります。例えば、本当に揺れを抑える制御が行えるのか、あるいは検知が間違っていた場合はどうなるのかなど、解決しなければならない課題については悩んでいるところです。

### ——これまでどのような業務に携わってきたのでしょうか。

航空宇宙技術研究所(NAL)に入所した当初は、「かぐや(SELENE)」に関連した研究を行いました。その頃は「かぐや」の初期検討段階で、当時の宇宙科学研究所(ISAS)と宇宙開発事業団(NASDA)、NALの共同研究でした。NALの担当は着陸機の部分で、私は着陸までのアルゴリズムの検討に携わらせてもらいました。結局、「かぐや」の着陸機構想は無くなってしまいましたが、同時期に高速飛行実証フェーズIにも参加しました。3機

関が統合されてJAXAが誕生した後、「きく8号(ETS-VIII)」の後期利用実験として姿勢制御実験を行っているチームに参加させていただきました。その後は、小規模飛行実験機(SSRV:Small Scale Research Vehicle)という小型の無人機の実験も行いました。

振り返ってみれば、さまざまな研究に参加してきましたが、基本的にはずっと制御理論を研究しているといえます。

### ——大学で制御を専攻したきっかけ、そしてNALに入所したきっかけは何ですか？

制御は宇宙や航空もそうですが、自動車でも化学プラントでも使われています。制御理論を学んでおけば、たいていの業種には行けるのではないかと、ということが大学で制御を専攻した動機ですね。大学の同期もさまざまな業種に就いていますから、あながち間違いではなかったと思っています。

私が大学院生の頃学会に行くと、NALに在籍する制御の研究者が何名かいらして、制御の実験などをしているということを知りました。制御理論を活用する場として航空宇宙分野は面白そうだと興味を持ったことが入所のきっかけですね。

### ——これまでにもっとも印象深かった研究や実験は何ですか？

これまでに小さい無人航空機の制御から、

静止軌道上にある4t級通信衛星の制御、そして今回の対象である旅客機の制御と、いろいろやらせてもらった研究者は珍しいと思います。中でも、大きなものを制御させてもらった「きく8号」の制御実験は、印象深く記憶しています。実験以外では、高速飛行実証フェーズIでクリスマス島に行ったことが今となっては面白い経験だったと思っています。

### ——今の研究のやりがいは何ですか？

大きな目標があってその中で自分の役割がはっきりしていて、かつ自分の持っているスキルがマッチしていると感じており、とても楽しくてストレスなく研究に取り組んでいます。たぶん、どれか一つが欠けていても、辛くなってしまおうという気はします。

これまでさまざまな研究に携わって、残っている分野は現在研究している旅客機の制御くらいなので、今回の仕事はなんとかまとめあげたいと思っています。しかし、人が操縦する、乗客が乗っている機体の制御となると、人命に直結していますから責任は重大です。万が一にも事故があってもいけませんから、スパンの長い研究になるでしょうし、たぶん定年までかかってしまうかもしれません。将来、飛行機に乗って突風応答軽減制御で機体の揺れが抑えられた時、「自分がやったんだ」と感じられればいいかなと思っています。

# JAXAが 研究している技術は どれも必要 一刻も早い実現を

パイロットが直面する課題に  
直結する航空技術を航空機へ

日本航空株式会社 運航本部 運航部  
(兼)オペレーションコントロールセンター企画部  
運航管理・気象企画推進グループ 調査役 777機長  
市川 将巳 氏 インタビュー

日本航空株式会社は、日本を代表するエアラインの一つとして、安全運航を堅持し、運航品質の向上に取り組んでいます。安全で快適な空の旅を乗客に提供する、まさに最前線の立場である航空機パイロットによる視点から、安全な航空運航における課題や安全な空の旅への想い、またJAXAが進める航空技術の研究などについてお話を伺いました。

——フライト前の気象情報の確認は、パイロットの方にとって非常に重要でしょうね。

私が乗務しているボーイング777の国際線を例にとりますと、出発の1時間45分前にディスパッチルーム※に行き、まずフライトに関連する情報を確認します。使用機材、お客さまの人数、使用滑走路、目的地の着陸滑走路など、フライトの大枠の情報です。その次に気象情報ですね。それから航空情報、NOTAM（ノータム）といわれるもので、出発地、目的地、代替飛行場、途中の緊急着陸に設定されている空港などの滑走路、あるいは空域の情報などです。その中でも気象情報確認の時間はブリーフィング全体の3分の1以上を占めています。

——気象情報に関しては、具体的にどのあたりを見ていますか。

パイロットは大きく二つに分けて気象情報を見ています。一つは、離着陸が可能かどうか。これはその日のフライトが成立する

かどうかとも関係しています。そしてもう一つが、飛行経路に沿った上空での乱気流に関するものです。積乱雲や雨雲によって揺れが予想される場合には、高度や飛行経路を変更して乱気流を回避することになります。

——JAXAのSafeAvioプロジェクトでは、晴天乱気流を検知する装置を旅客機に搭載することを目指しています。ブリーフィングで用いる気象情報の画面にも、晴天乱気流が発生する可能性のある空域は表示されていますね。

航空気象の予測技術は、日進月歩で進化しています。特に国内において気象庁が発行する気象予測は高い精度です。しかし、飛行の現場は太平洋上空であったり、気象予測が6時間ごとにはしか更新されない空域であったりします。したがって、私たちの仕事には、気象予測が完全でない空域で不確実性と向き合う部分が多分にあります。

晴天乱気流が発生しそうな空域というのは、気象予測といわゆるパイロットリポートという他の航空機が遭遇した揺れの情報から算定している場所で、広さが数百kmというスケールでの予想です。つまり、その空域に入ると揺れるというシンプルな関係ではありません。自分たちが操縦する航空機がその空域を通過する時に本当に揺れるかどうか、POTENTIAL（ポテンシャル）として示されているだけなのです。

私がSafeAvioに期待しているのは、揺れが実際に来ることを教えてくれるからなのです。

——SafeAvioの今の検知距離は9kmほどです。乱気流を検知しても回避操作はできま

ディスパッチルームでのフライト前の準備中の市川氏

せんが、それでも揺れに対する備えという面では役に立つということですね。

非常に有効です。緊急地震速報と同じで、その事象が起きる1秒前でも、その情報があるかないかではまったく違います。揺れのポテンシャルのある空域を飛行していても、揺れが何秒後、何分後に来るかは分かりません。揺れが来るのが分かれば、パイロットはシートベルトサインを点灯し、状況によっては機内アナウンスによって注意を促すことができます。お客さまも心構えができるでしょうし、客室乗務員も、1秒でも2秒でも前に揺れを知ることができれば、身を守る動作をとることができます。

——実際に晴天乱気流に遭われたことはありますか。

むしろ晴天乱気流に遭わないことが少ないといった方が正確な表現になると思います。日本からアメリカに飛んでいく場合、私たちはジェット気流をとらえて飛行しますが、ジェット気流は蛇行しています。その蛇行の谷と尾根の部分で晴天乱気流が起きるケースが多いのです。日本の上空は、世界的に見ると晴天乱気流の多発地帯といえます。

——SafeAvioは快適な空の旅にも役立つとお考えですか。

私たちJALでは、お客さまに寄り添い、感動を与えられるようなサービスを提供することを目指しています。しかしそのことと、揺れが予想されるため着席を求めることはコンフリクトしているのです。JALが就航している路線では、飛行時間が12時間を超える路線もあります。その間、お客さまに快適な機内サービ

※フライト前に機長や運航関係者等がブリーフィングを行う部屋



スやお食事を楽しんでいただけるよう、外気温や風の変化、前を飛行してる航空機の飛行機雲の乱れなどを監視しながら、晴天乱気流の初動の発見に努めています。SafeAvioで実際の揺れが来ることを知ることができるとすれば、より適切なシートベルトサインの運用が可能になります。

### —SafeAvioに対するJAXAへの要望は何ですか。

早く実現していただきたいということですね。繰り返しになりますが、晴天乱気流が予想されるエリアを飛行せざるを得ない現実があります。パイロットは安全を最優先させつつ、ポテンシャルとして表現される晴天乱気流の予想に対して、現実の答えを出し続けなければなりません。そのための切り札として、何秒か何分かをパイロットや客室乗務員に与えていただきたいと思っています。

### —SafeAvioではさらに、晴天乱気流に進入した機体の舵を自動制御して揺れを少なくするところまでやろうと考えています。

JAXAウェブサイトにあるSafeAvioのシミュレーション動画を拝見しました。お客さまや客室乗務員が安心して機内を移動できる程度まで揺れを軽減してもらえるのであれば、多分世界中のパイロットが欲しいと思うのではないのでしょうか。

### —SafeAvioを少し離れて、それ以外にJAXAに期待したい研究課題は何でしょうか。

一つは後方乱気流の問題です。世界の航空機輸送量は増加の一途にあり、航空路は非常に混み合ってきました。そのため、気象現象による乱気流以外に航空機による後方乱気流に起因する事故が起きています。この問題は今後、さらに顕著になっていくのではないかと思います。

### —JAXAのDREAMSプロジェクトでは、後方乱気流の動きを予測し後続機との安全な間隔を自動的に算出するシステムを開発しました。こうしたシステムが実装されるよう、今後も研究を続けていきます。

気象に関することも期待しています。まず、降雪への対策ですね。JAXAでは滑走路上の雪や氷の状態を計測するセンサや機体への着氷を検知するセンサ、あるいは機体への着氷を防止する技術の研究をしていますね。こう

した技術は本当に明日からでも欲しいです。  
—雷についてはいかがでしょう。

日本海側で冬季に発生する雷はエネルギーが高く、これまでも問題になってきましたが、最近ではゲリラ豪雨や梅雨前線などの活発な気象現象にともなって各地で被雷するケースも増えてきました。カーボン製の機体に被雷した場合、修復に時間を要します。被雷を防ぐには、パイロットへの有効な気象情報の提供や、被雷をさせない管制誘導の実現などに取り組んでいく必要があるだろうと思っています。

### —気象以外での期待や要望などはありますか。

今、パイロットが一番困っていることの一つは、機体騒音に関することです。着陸の際には車輪やフラップからの風切り音、すなわち機体騒音が発生しますが、空港周辺での騒音対策のため、パイロットは車輪やフラップをなるべく遅いタイミングで降ろすように要請されます。騒音が発生する時間が少なくなりますから。しかし一方で、安全な着陸のためには、高度300mで車輪もフラップも下げた状態で滑走路に安定した状態で進入することも求められているのです。また、例えば東京国際空港(羽田空港)では、4本ある滑走路のうち、なるべく北向き、つまり東京湾の上空を低高度で飛んできて着陸する滑走路が優先的に使用されます。

### —海の上なら騒音の問題は少ないからですね。

しかしこの場合、南向きの風が吹いていると追い風になり、進入速度が速くなってしま

います。最終進入速度まで定められた高度までに減速することも、安全上大変重要です。パイロットもなるべく騒音を減らしたいとは思っているのですが、安定した状態で着陸するために難しい判断を求められます。

### —なるほど。そういう問題もあるのですね。JAXAは機体騒音低減について、FQUROH(機体騒音低減技術の飛行実証)プロジェクトで取り組んでいるところですか。

あとは、DREAMSプロジェクトで研究されていた「精密曲線進入」ですね。カーブした経路のアプローチでも、ILS(計器着陸装置)と同じようにパイロットに安定した進入を提供してくれる技術をぜひ実現していただきたいと思っています。騒音を出したくないエリアを避けて飛行することができるのも、騒音低減に必要な技術です。

### —JAXAが研究している課題は、パイロットの立場からすれば、どれも早期の実装を希望されているという指摘と受け止めました。

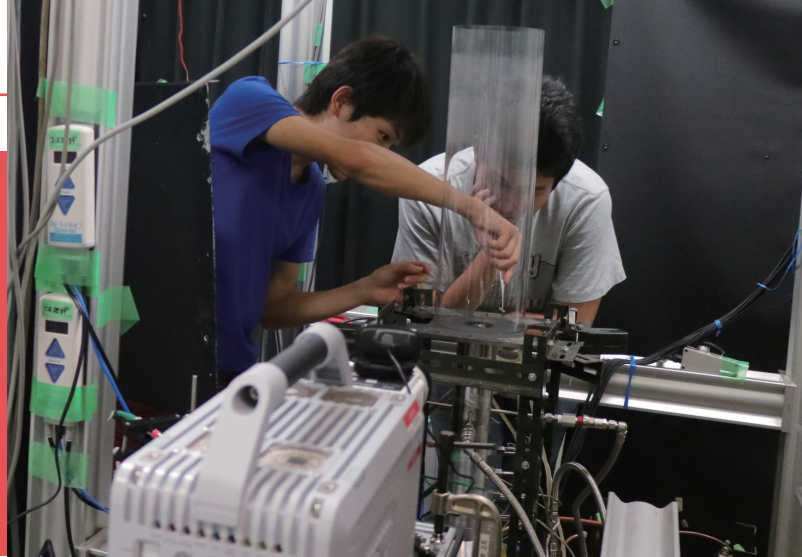
そうですね、どれもパイロットが必要としているものですし、一刻も早く実現してほしいです。飛行時間を半減できるような超音速旅客機といった、かなり将来的な基礎研究や先端研究も非常に大事な研究だと期待しています。例えばニューヨーク線のように、12時間を超えるような飛行時間の便では超音速で飛行できたら、本当にいいなと思います。そのような未来に対する研究課題もぜひ進めてほしいと心の底から思っています。その一方で、私たちパイロットが日々の運航で直面する問題を解決できる技術の実現もぜひお願いします。



フライト前のディスパッチルームでは、機長と副操縦士が飛行空域の気象予測などさまざまな情報を用いて、綿密に飛行計画を確認する。JAXAと気象庁が共同研究した「空港低層風情報(ALWIN: Airport Low-level Wind INformation)」は、すでに実用化段階にありフリーフィング資料として活用され始めている。(ALWINについては、FLIGHT PATH No.8を参照)

# 燃焼振動

厳しい排出ガス規制に対応した希薄燃焼(リーンバーン)方式において課題の一つとなっているのが燃焼振動です。JAXAは、リーンバーン燃焼器の燃焼振動発生を抑制するための研究開発に取り組んでいます。



燃焼振動の実験には、JAXAと連携している大学から複数の学生が参加している。写真は基礎実験準備作業の様子。

## ■将来の排出ガス規制にも対応する燃焼器

環境問題に対する意識が世界的に高まっている中、航空産業でもさまざまな環境問題への取り組みが行われています。中でも航空機エンジンにおける二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)や窒素酸化物(NOx)などの排出ガスは、国際民間航空機関(ICAO)の航空環境保全委員会(CAEP)で国際基準が規定されており、その排出量は数年ごとに規制が強化されています。したがって、航空機用エンジンの開発においては、10年~20年先の規制値を見込んで、できるだけNOxや粒子状物質(PM)の排出を抑えるようにしなければなりません。将来の規制基準にも対応したエンジンを作ることができれば、それが大きなセールスポイントの一つになります。

燃焼後に酸素と燃料が残らないような混合割合(量論比)で燃やすと、燃焼温度が高くなりNOxが多く生成されます。現在主流となっている過濃希薄(RQL: Rich Burn Quick Quench Lean Burn)燃焼方式では、局所的な高温領域を消し去ることができないため、NOxの低減には限界があること、また、燃料が多い状態(リッチ)での燃焼がすやすや粒子状物質の発生源となりやすいことなどの克服すべき課題があります。一方、燃料に対して空気量の多い状態(リーン)に予め混合して燃焼させると、燃焼温度が抑えられてNOxも大幅に減らすことができます。JAXAでは、従来のRQL燃焼方式に代わる低NOx燃焼方式として、リーンバーン方式を取り入れた燃焼器を開発しています。中心に種火を作るパイロット燃料ミキサ、その周囲にメイン燃料ミキサを配置した予混合二段燃焼方式の開発に取り組み、試作品による実験で、2008年に適用されたICAOの基準(CAEP/6)に対しNOxの排出量を80%削減することに成功しています。

## ■エンジン破損にも繋がる燃焼振動とは

しかし、一般的にリーンバーン方式では、速度変動に対して炎が敏感に応答するために燃焼振動が発生しやすいという技術課題があります。燃焼振動とは、筒状になっている燃焼室の中で、圧力(音)と炎が互いに変動を強め合うように働くことで起きる、一種の共鳴現象です。ある特定の周波数で、非常に大きな振幅の圧力振動を引き起こすため、エンジン内部の部品を破損させる可能性もあります。内部の破損は、エンジンの故障にも繋がり重大な事故やインシデントに繋がります。そのため、製品となる前の開発段階でこの問題はつぶしておく必要があります。燃焼振動の問題は、航空機の安全性に関わる課題であり、また、エンジンのメンテナンスコストという経済面の課題でもあるのです。

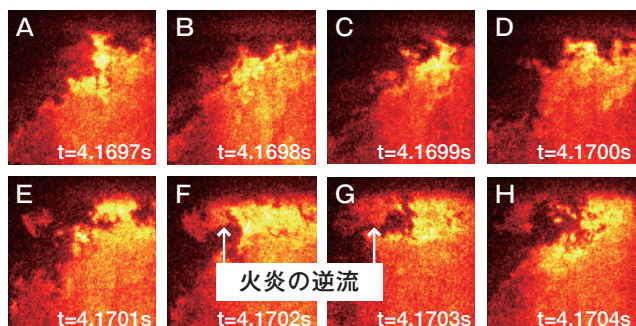
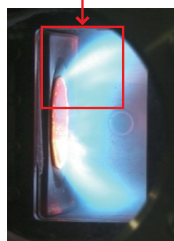
燃焼振動問題をクリアするためには、まず現象を観測し発生原因を特定することがとても重要です。脳梗塞などの病気で手術前にCTスキャン断層写真から問題を特定するのと同じ診断技術です。JAXAでは、石英ガラス窓で燃焼器内部を可視化できる燃焼器を用いて燃焼振動を再現し、振動発生メカニズムを診断する計測技術の開発に取り組んでいます。高温高圧環境下における燃焼振動状態の計測のために、10,000Hzで作動するOH-PLIF計測技術の応用を進めています。PLIF法(平面レーザー誘起蛍光法: Planar Laser-Induced Fluorescence Technique)は、シート状に照射したレーザー光によって電子エネルギー励起された分子の発光を撮影する観測手法です。高温領域に比較的高濃度で存在するOH分子の分布を10,000Hzという高速度で撮影し、燃焼振動が発生している際の炎のばたつく動きを詳しく調べることで、燃焼振動の発生源を特定することができます。ジェットエンジン燃焼器で問題となる燃焼振動周波数は数百~数千Hzです。10,000Hzの計測によって、不安定周波数を十分な時間分解能をもって時系列的にとらえることができます。

## ■燃焼振動の解決は、航空産業以外の分野でも貢献できる

実験は、共同研究や技術研修生受け入れを通じて、大学とも連携して進めています。燃焼振動の再現実験だけでなく、OH-PLIF計測法による観測結果を解析し、さらにCFD(数値流体力学)による再現も行っています。また、燃焼振動の発生を早期に検知・予測するモニタリング技術の研究も始まっています。これらの成果をエンジンの設計段階でどのような条件で燃焼振動が発生するか予測できるようなツールの開発につなげるのです。

こうした研究は、燃焼器の新規設計や既存燃焼器の改善に大きく貢献します。また、燃焼振動の計測技術や燃焼振動を発生させないための技術は、航空エンジンのみならず発電用のガスタービンやボイラ、ロケットの燃焼系システムにも広く適用することが可能であるため、航空産業を含め多くの産業に貢献できる技術です。

断層写真の表示範囲



「高温高圧燃焼試験設備での燃焼振動実験データ(燃焼器入口圧力:7気圧、入口温度:760K)」  
高速OH-PLIFによって、1万分の1秒間隔で撮影した燃焼振動発生時の火炎断層写真。  
F-Gに見られる火炎の逆流が周期的に発生している。

# ソラの技

観測した気象データから  
操縦の難易度を推定する  
技術を紹介します。

## ■ トラブルの要因となる低層風擾乱

海外に比べて日本国内には、低層で発生するウィンドシア<sup>※1</sup>や乱気流といった低層風擾乱の影響を受けやすい空港が多くあり、就航率や運航効率の低下、航空機事故の原因となっています。例えば、2008年の成田空港における約100回の着陸復行(ゴアラウンド)は、その98%が低層風擾乱を要因とするものでした。現在、成田・羽田・関西といった拠点空港では、気象庁が設置した気象ドップラーレーダー/ライダーなどの観測装置を使って観測した低層ウィンドシアの情報を航空局へと提供しています。

しかし、現在のシステムにはいくつかの課題があります。空港に設置された観測装置では、検知可能なウィンドシアのスケールがkmのオーダーとなっているため、地形性乱気流のような変化のスケールが小さい(十〜百mオーダーのスケールで変化する)乱気流は検知できないおそれがあります。さらに、航空機のパイロットへ情報を伝える手段が航空管制用の無線通信のため、風向・風速といった詳細な情報までは伝えることができず、情報提供の機会自体も事故に直結する極端に強いウィンドシアの発生時に限定されています。結果として、現在のシステムは事故防止には有効なもの、着陸復行などの低層風擾乱による運航効率の低下を防ぐには、より詳細な風の情報をパイロットが望む任意のタイミングで提供することが求められていました。

## ■ 事故防止+αの効果をめざす LOTASとは

JAXAでは、現在使用されているシステムの課題をクリアし、パイロットがより正しい状況判断を行うための情報提供を行うシステム「低層風擾乱アドバイザリシステム(LOTAS)」の研究開発を進めています。

LOTASは、気象ドップラーレーダー/ライダーからの観測データから、着陸経路上の低層風擾乱を検知、機体の特性も考慮して危険度を判断します。また10分後の大気状態を推測して低層風擾乱の発生などを予測して、着陸のタイミング判断を支援する機能も備えています。これらの情報は地上の空港関係者にはインターネット経由で提供され(図1)、航空機には既存システムであるACARS<sup>※2</sup>を利用して送られます(図2)。LOTASにより、パイロットは自らが望む最適なタイミングで詳細な風情報を得ることができるため、事故防止だけでなく、着陸復行の低減など運航効率の改善も期待できます。このLOTASの中核技術の一つが、「操縦難易度の推定技術」です。操縦難易度は、低層風擾乱が飛行に与える影響を表す指標となります。

## ■ 操縦の難易度をどのように推定するのか

操縦難易度の推定は、3つの推定部から構成されます(図3)。まず、観測機器が計測した風向・風速に滑走路の方位

情報を加え、進入経路上の正対風・横風成分および高度方向の変化率を算出し、さらにニューラルネットワーク

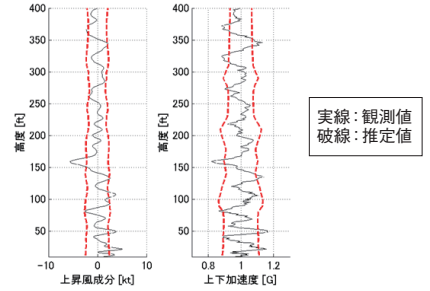


図4 飛行諸元の変動幅と推定例

(NN)を用いて気象ドップラーレーダー/ライダーでは直接観測できない正対風・横風・上下風成分の変動幅を推定します。NNの学習には、実際の飛行データとその時の観測データを使用します。飛行データは、非常に詳細に記録されているため、そこから算出する風のデータには、機体に影響を与える小規模な風擾乱のデータも含まれています。

次に、推定した風擾乱データに航空機の機種や空力特性などの情報を加え、対気速度や機体の姿勢、上下・左右の加速度など、風擾乱による飛行諸元の変動幅を推定します。ここでも機種毎にNNを使った推定を行います(図4)。

そして、推定した飛行諸元の変動幅と航空機の機種データから、ベイジアンネットワーク(BN)によって操縦難易度を推定します。操縦難易度は、グリーン、アンバー、レッドの3つに区分され表示されます。グリーンは問題無し、アンバーは注意が必要、レッドは復行の可能性が高いことを意味します。ただし、操縦難易度はパイロットの主観によってばらつきが発生するため、操縦難易度は確率的に推定する工夫をしています。

LOTASで開発した技術は、その後JAXAが気象庁と共同開発した「空港低層風情報(ALWIN)」にも使われています。ALWINは、気象ドップラーレーダー/ライダーが既に配置されている羽田および成田空港において、実証実験を経て2016年度中の稼働を目指しています。ALWINが稼働すれば、パイロットはウィンドシアなどの情報と共に操縦の難しさの判断基準を容易に得ることができるようになります。

※1 大気中の2点間における風のベクトル差。シアは“ずれ”を意味する言葉。水平方向を水平シア、垂直方向を鉛直シアと呼ぶ。  
 ※2 地上と航空機を結ぶデジタル・データリンク・システム。気象情報などの必要な情報を自動的に送受信する。

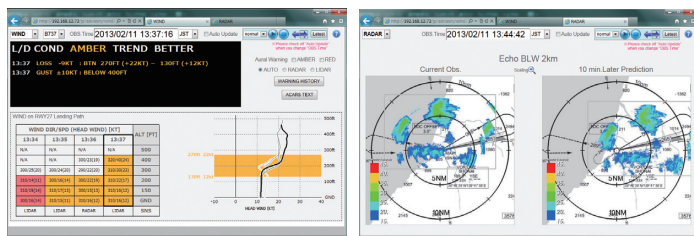


図1 インターネット経由で取得できる風擾乱情報の一例

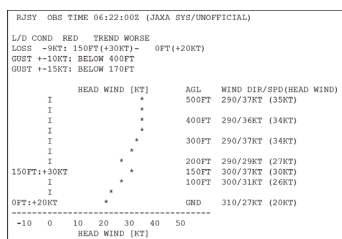


図2 ACARSに送られるデータの一部

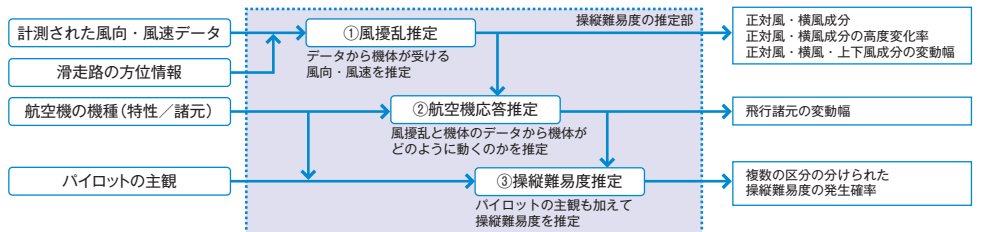


図3 観測データから操縦難易度を推定するまでの流れ

## Topic 1

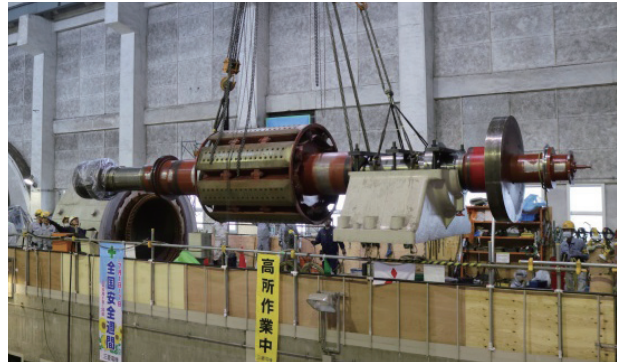
### 遷音速風洞、主送風機駆動電動機を取り外す作業が開始されました

2m×2m遷音速風洞の主送風機(ファン)を駆動する電動機を取り外す作業が、2016年6月から開始されました。遷音速風洞とは、音速前後の気流を生成し、飛行状態を模擬試験する設備です。本風洞は、完成以来半世紀以上にわたって、日本の航空研究開発において重要な役割を果たしてきました。日本初の国産ジェット旅客機MRJの開発でも、基準風洞として利用されています。

今回、気流を生成する主送風機を回転させる大型の電動機(出力22,500kW、質量110t)を、交換することになりました。前回交換は1987年度、建設以来2度目の交換となります。

これまでにファンに直結される回転子、磁力で回転子を回転制御する固定子、回転子の軸台座などの取り外しの作業が行われています。ファンの軸と回転子とを結合するカップリング部品は、古い電動機から取り外して再度使用します。交換作業の完了は、2016年9月を予定しており、引き続き日本の航空産業に貢献する風洞試験を行ってまいります。

交換作業の様子は、随時JAXA航空技術部門ウェブサイト上でお知らせしていく予定です。



クレーンで吊り下げられる回転子

## Topic 2

### 実験用航空機「飛翔」によるデータ取得飛行を石垣島付近で行いました

2016年6月16日～21日、「飛翔」による“静的および動的空力特性の取得”を目的とした飛行試験を沖縄県石垣島東方海上に設定した試験空域にて行いました。この試験は、飛行試験データの精度を高める研究のためのものです。この研究が目指す技術が実現すると、飛行機の開発過程において飛行試験と地上試験(風洞試験と数値シミュレーション)の差を理論的に意味のある形で議論することができるようになり、また、設計された飛行機が予測通りの性能を持っているかどうかを確認できるようになります。

より詳しい内容は、JAXA航空技術部門ウェブサイトにも掲載されています。

#### 実験用航空機レポート

<http://www.aero.jaxa.jp/exair-report/>

※この試験によって取得されたデータを使用する研究の一部は、「平成27年度科研費(基盤研究(C))15K06612 飛行機の高精度な静的空力特性推定を可能にする飛行試験データ処理手法の研究」から助成を受けて行われています。



梅雨明け直後の新石垣空港で離陸を待つ実験用航空機「飛翔」

## Topic 3

### JAXA航空技術イノベーションチャレンジ公募受付中!

JAXAは我が国の航空宇宙分野の研究開発の中核機関として、航空産業の発展に向けたオープンイノベーションを推進するため、産業界や大学等との連携を促進しています。その一環として、今年度、新たな公募事業として「JAXA航空技術イノベーションチャレンジ」を実施しています。この公募は、世界の航空輸送や航空機利用にイノベーションをもたらし、我が国の航空産業の競争力強化につながる新たな技術やアイデアを、航空分野のみならず異分野からも広く求めるものです。多くの応募をお待ちしております。

■ 募集締切:8月31日(水)17時必着

必要書類等、詳細についてはJAXA航空技術部門ウェブサイトにてご確認下さい。

「JAXA航空技術イノベーションチャレンジ」の概要

<http://www.aero.jaxa.jp/collabo/public-invitation/fy28-challenge.html>

表紙画像:ドップラーライダーのレーザー光を送信・受信する光アンテナの接写画像です。光アンテナに使われているレンズの直径は約150ミリです。

